



⑲ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 101 43 217 C 1**

⑤① Int. Cl.7:  
**H 02 K 3/12**

②① Aktenzeichen: 101 43 217.8-32  
②② Anmeldetag: 4. 9. 2001  
④③ Offenlegungstag: -  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 27. 2. 2003

**DE 101 43 217 C 1**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ **Patentinhaber:**  
Compact Dynamics GmbH, 82319 Starnberg, DE

⑦④ **Vertreter:**  
WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und  
Rechtsanwälte, 81541 München

⑦② **Erfinder:**  
Gründl, Andreas, Dipl.-Phys.-Dr., 81377 München,  
DE; Hoffmann, Bernhard, Dipl.-Ing., 82319  
Starnberg, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE	197 36 645 C2
DE	100 59 575 A1
DE	38 03 752 A1
GB	13 29 205
EP	10 39 616 A2

⑤④ **Wanderfeldmaschine**

⑤⑦ Wanderfeldmaschine mit einem Ständer und einem  
Läufer, die jeweils wenigstens eine Ständerspule bzw.  
eine Läuferspule aufweisen, wobei der Ständer bzw. der  
Läufer einen weichmagnetischen Eisenkörper mit einem  
Ständer- bzw. Läuferücken aufweist, an dem unter Bil-  
dung von Zähnen beabstandete Nuten ausgebildet sind,  
und die Ständer- bzw. Läuferspulen in den Nuten des  
Ständers bzw. des Läufers angeordnete Leiterstäbe und  
an den Stirnseiten des Ständers bzw. Läufers angeordne-  
te, die Leiterstäbe verbindende Stirnverbinder aufweisen,  
und wobei die Ständer- bzw. Läuferspulen im Bereich der  
Stirnverbinder zumindest teilweise im wesentlichen quer  
zum Grund der Nuten abgewinkelt sind und den Grund  
der Nuten zumindest teilweise in Richtung der Ständer-  
bzw. Läuferücken überragen.

**DE 101 43 217 C 1**

## Beschreibung

## Bereich der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Wanderfeldmaschine. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Wanderfeldmaschine mit einem Ständer und einem Läufer, die jeweils wenigstens eine Ständerspule bzw. eine Läuferspule aufweisen, wobei der Ständer und/oder der Läufer einen weichmagnetischen Eisenkörper mit einem Ständer- und/oder Läuferücken aufweist, an dem unter Bildung von Zähnen beabstandete Nuten ausgebildet sind.

## Begriffsdefinitionen

[0002] Unter dem Begriff "Wanderfeldmaschinen", also Asynchron-, Synchron-, Reluktanzmaschinen etc. sind sowohl Motoren als auch Generatoren verstanden, wobei es insbesondere für die Erfindung unerheblich ist, ob eine solche Maschine als rund laufende Maschine oder zum Beispiel als Linearmotor ausgestaltet ist. Außerdem ist die Erfindung sowohl bei Innenläufermaschinen als auch bei Außenläufermaschinen einsetzbar.

## Hintergrund der Erfindung

[0003] Bei der Verminderung des Volumens hocheffizienter elektrischer Maschinen spielt die Bauform und Anordnung der Leiter eine entscheidende Rolle. Möglichst kurze Leiterlängen in den Wicklungsköpfen bei einer hohen Raumaussnutzung vermindern die ohmschen Verluste und erhöhen die Leistungsdichte.

[0004] Da die ohmschen Verluste in der Ansteuerung und in der Wicklung dem zu schaltenden Strom proportional sind, muß eine gewisse Leiterlänge im Magnetfeld bereitgestellt werden, um bei einem möglichst niederohmigen Leiteraufbau eine der gewünschten hohen Ansteuerspannung entsprechende induzierte Gegenspannung zu erzeugen.

[0005] Konventionelle elektrische Maschinen werden überwiegend mit kontinuierlichen Drähten – meist mit rundem Querschnitt – gewickelt. Ein dünner, flexibler Draht lässt sich zwar einfach in die Nuten einlegen, ein Nachteil besteht jedoch in der geringen Raumaussnutzung in den Nuten und Wicklungsköpfen. Drähte mit rundem Leiterquerschnitt können die Querschnittsfläche der Nut nicht vollständig ausnutzen.

[0006] Da die Drähte gegeneinander isoliert sein müssen und in der Regel einen kreisrunden Querschnitt aufweisen, beträgt der Füllfaktor der Nuten (Gesamt-Drahtquerschnittsfläche/Nutquerschnittsfläche) etwa 35%–40%. Da bei derartigen gewickelten Drahtspulen nicht sicher vorhersehbar ist, welche Windungen der gewickelten Drahtspulen nebeneinander zu liegen kommen, muß die Isolierschicht hierbei mindestens die Durchschlagfestigkeit der maximalen, an der Wicklung anliegenden Nenn-Spannung haben. Besonders bei einer kleinen Drahtzahl pro Nut, bzw. wenn der Leiterquerschnitt relativ gross im Verhältnis zum Nutquerschnitt ist, verringert sich die Raumaussnutzung in den Nuten. Leiter mit einem Querschnitt, der dem Nutquerschnitt angepasst ist, können nur sehr aufwendig kontinuierlich gewickelt werden.

[0007] Beim Wickeln bzw. Einlegen sowohl von Drähten als auch von vorgeformten Spulen sind beim Verformen der isolierten Leiter Biegeradien einzuhalten. Mit abnehmenden Biegeradien wächst die Gefahr, dass die möglichst dünnen Isolationsschichten, die bereits vor dem Verformen aufgebracht werden, beschädigt oder in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Der Raum in den Wicklungsköpfen kann da-

durch nur unzureichend genutzt werden und die magnetisch nicht wirksame Leiterlänge, das Gesamtgewicht, der Raumbedarf und die ohmschen Verluste steigen an.

## Stand der Technik

[0008] Aus der DE 38 03 752 A1 ist ein Ständer für einen Drehstromgenerator bekannt dessen Ständerblechpaket Nuten aufweist, in denen Ständerwicklungen angeordnet sind. Dabei haben die Ständerwicklungsabschnitte innerhalb der Nuten einen rechteckigen Querschnitt und die die Spulenköpfe bildenden Ständerwicklungsabschnitte außerhalb der Nuten einen kreisrunden Querschnitt. Dabei sind die Ständerwicklungsabschnitte mit dem kreisrunden Querschnitt durch hohlzylindrische Leiter gebildet, während die Ständerwicklungsabschnitte mit dem rechteckigen Querschnitt durch Zusammenpressen des hohlzylindrischen Leiters gebildet sind.

[0009] Aus der GB 1 329 205 ist es bekannt, die Wicklungen als Gußkörper herzustellen, bei denen die (aus den Nuten herausragenden) Endabschnitte einen größeren Querschnitt haben als die Leiterabschnitte in den Nuten.

[0010] Aus der DE 197 36 645 C2 ist es bekannt, das Verhältnis der Dicke der Ständer- bzw. Läuferspule im Bereich des Spulenkopfes zu der Dicke der Ständer- bzw. Läuferspule im Bereich der Nut so festzulegen, daß es dem Produkt der Phasenzahl der Wanderfeldmaschine und der Lochzahl jeder Spule entspricht. Damit ist sichergestellt, daß die Spulen im Kopfbereich in radialer Richtung nicht breiter sind als die Nuten in radialer Richtung tief sind. Dadurch finden alle Windungen im Kopfbereich in radialer Richtung nebeneinander Platz, ohne die Nuten oder den Rücken des Läufers oder Ständers in radialer Richtung zu überragen. Dabei sind die Kopfteile gegenüber den Nutabschnitten der Wicklungen parallel zur Nutlängsachse abgekröpft und phasenweise auf minimalen Abstand über den Nuten parallel zusammengeführt.

[0011] Aus der EP 1 039 616 A2 ist eine Wanderfeldmaschine bekannt, deren Ständer eine Ständerspule trägt. Der Ständer hat einen weichmagnetischen Eisenkörper mit einem Ständerrücken an dem unter Bildung von Zähnen beabstandete Nuten ausgebildet sind. Die Ständerspulen haben in den Nuten angeordnete Leiterstäbe und an den Stirnseiten des Ständers angeordnete, die Leiterstäbe verbindende Stirnverbinder auf. Die Stirnverbinder der Ständerspulen sind quer zum Nutengrund angeordnet und überragen den Nutengrund in Richtung des Ständerrückens.

## Der Erfindung zugrundeliegendes Problem

[0012] Den vorstehend erläuterten, bekannten Anordnungen haftet der Nachteil an, die Anforderungen an die Leistungsdichte und Zuverlässigkeit, wie sie in einigen Anwendungsbereichen gestellt werden, nur teilweise zu erfüllen.

[0013] Die Ausgestaltung der Spulenköpfe ist ein für den Wirkungsgrad der elektrischen Maschine wesentlicher Faktor, wobei die bekannten Ausgestaltungen hinsichtlich der Erfordernisse einer Massenfertigung nicht für hoch-effiziente Maschinen optimiert sind.

[0014] So sind zum Beispiel die Verbindungstellen der Leiterstäbe in den Nuten mit den Stirnverbindern in den Spulenköpfen sind für die Zuverlässigkeit der jeweiligen elektrischen Maschine ein wesentlicher Faktor. Dies gilt umso mehr, als die räumlich sehr beengten Verhältnisse im Bereich der Wicklungsköpfe eine Reihe von bekannten Verbindungstechniken ausschließen.

[0015] Alle bekannten Konzepte haben gemeinsam, daß bei ausreichend kompaktem Aufbau die Zuverlässigkeit für

den Groß-Serien-Einsatz nicht erreicht wird. Außerdem sind bekannte Vorgehensweisen in der Herstellung sehr kostenintensiv.

#### Erfindungsgemäße Lösung

[0016] Zur Lösung dieser Probleme lehrt die Erfindung eine Wanderfeldmaschine der oben genannten Art, mit einem Ständer und einem Läufer, die jeweils wenigstens eine Ständerspule bzw. eine Läuferspule aufweisen, wobei der Ständer und/oder der Läufer einen weichmagnetischen Eisenkörper mit einem Ständer- und/oder Läuferrücken aufweist, an dem unter Bildung von Zähnen beabstandete Nuten ausgebildet sind, und die Ständer- und/oder Läuferspulen in den Nuten des Ständers und/oder des Läufers angeordnete Leiterstäbe und an den Stirnseiten des Ständers und/oder Läufers angeordnete, die Leiterstäbe verbindende Stirnverbinder aufweisen, und wobei die Ständer- und/oder Läuferspulen im Bereich der Stirnverbinder zumindest teilweise im wesentlichen quer zum Grund der Nuten abgewinkelt sind und den Grund der Nuten zumindest teilweise in Richtung der Ständer- bzw. Läuferrücken überragen. Bei dieser Anordnung haben erfindungsgemäß die Stirnverbinder eine effektive Dicke im wesentlichen quer zu einem zwischen dem Ständer und dem Läufer befindlichen Luftspalt, die der Bedingung genügt:

$$LD \cdot n + RT \cdot a = SD \cdot n \cdot PZ \cdot LZ$$

wobei

LD die Dicke eines der Leiterstäbe,

SD die Dicke des Stirnverbinders,

NT die Tiefe der Nut,

RT die Tiefe des Rückens,

a ein Sicherheitsfaktor (0...1),

n die Zahl der Leiterstäbe in Richtung der Nuttiefe NT

LZ die Lochzahl der Spulen, und

PZ die Phasenzahl der Wanderfeldmaschine ist.

[0017] Diese Ausführung erlaubt eine maximale Ausnutzung des vorhandenen Raums (sowohl in axialer als auch in radialer bzw. seitlicher Richtung) bei gleichzeitiger Leistungsoptimierung der elektrischen Maschine mit sehr hoher Zuverlässigkeit im Betrieb bei geringen Herstellungskosten.

#### Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung

[0018] Bevorzugt sind die Stirnverbinder an ihren beiden Endbereichen mit den Enden der Leiterstäbe durch Versatzabschnitte verbunden. Die Länge der Versatzabschnitte bestimmt dabei zusammen mit der Dicke des Stirnverbinders das Maß, in dem die Wicklungsköpfe über den Rücken des Läufers oder Ständers ragen.

[0019] Hierbei können die Versatzabschnitte an den beiden Endbereichen der Stirnverbinder zu den jeweiligen Enden der Leiterstäbe unterschiedlich lang und/oder mit unterschiedlichem Winkel abgewinkelt sein. Dadurch ist es möglich, bei einem bestimmten Maß, in dem die Wicklungsköpfe über den Rücken des Läufers oder Ständers ragen, entsprechend der vorgegebenen Phasen- und Lochzahl der elektrischen Maschine die Stirnverbinder anzuordnen.

[0020] Der Sicherheitsfaktor (a) liegt in einem Bereich von 0.05 bis 0.95, vorzugsweise in einem Bereich von 0.2 bis 0.8.

[0021] Eine weitere Raumausnutzung kann dadurch erreicht werden, daß zumindest auf einer der beiden Stirnseiten des Ständers die Stirnverbinder nicht nur in Richtung des Ständerrückens, sondern auch in Richtung des Luftspaltes zwischen dem Ständer und dem Läufer verbreitert werden.

In diesem Fall ist ein weiterer Faktor auf der rechten Seite in die obige Gleichung aufzunehmen, der diesen Betrag berücksichtigt.

[0022] Die Leiterstäbe haben an ihren Enden jeweils einen

Verbindungsbereich, der mit entsprechenden Abschnitten an den Stirnverbindern für eine mechanische und elektrische Verbindung zusammenpaßt. Die Ausgestaltung der mechanischen und elektrischen Verbindung kann unterschiedlich sein. Eine erste Ausführungsform der Erfindung hat einen Schlitz an den beiden Stirnseiten der Leiterstäbe, in die jeweils ein Ende eines Stirnverbinders eingeschoben und elektrisch und mechanisch mit dem Leiterstab verbunden wird. Alternativ kann auch an dem an einem oder beiden Enden eines Leiterstabes eine Verbindungslasche angeformt sein, die mit einem entsprechenden Abschnitt des Stirnverbinders elektrisch und mechanisch verbunden wird. Mit anderen Worten sind Verbindungsbereiche an den Enden der Leiterstäbe durch stirnseitige Ausnehmungen oder Verjüngungen gebildet, in bzw. an die die entsprechenden Abschnitte der Stirnverbinder gefügt und kontaktiert sind.

[0023] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung in Gestalt einer rund laufenden Maschine verjüngen oder erweitern die Nuten sich zu einem Luftspalt zwischen dem Ständer und dem Läufer hin und die in den Nuten angeordneten Leiterstäbe haben abhängig von ihrer Position in der Nut eine an die Weite der Nut zumindest teilweise angepaßte Breite. Dies bietet die maximale Ausnutzung des verfügbaren Nutraums.

[0024] In einer Ausführungsform der Erfindung ist jede Ständer- bzw. Läuferwicklung aus im Querschnitt im wesentlichen rechteckigen Leiterstäben in den Nuten und Wicklungsköpfe bildenden Stirnverbindern aufgebaut ist, wobei die Leiterstäbe an ihren Enden mit den Stirnverbindern materialschlüssig elektrisch verbunden sind, indem jeder der Stirnverbinder einen im wesentlichen U-förmig gestalteten Endabschnitt mit zwei gegenüberliegenden Schenkeln aufweist, deren einander zugewandte Innenseiten mit entsprechenden Seitenflächen eines Endabschnittes eines der Leiterstäbe verbunden sind.

[0025] Diese Lösung erlaubt eine besonders sichere und auch im Massenfertigungsbetrieb kostengünstige Herstellung der Ständerwicklungen mit hervorragenden elektrischen und mechanischen Eigenschaften.

[0026] Die Verbindung zwischen dem Endabschnitt des Leiterstabes und dem Endabschnitt des Stirnverbinders kann dabei – unabhängig von der konstruktiven Gestaltung des Endabschnittes des Leiterstabes und dem Endabschnitt des Stirnverbinders eine Schicht aus Hartlot, vorzugsweise Silberhartlot, Zinnhartlot oder dergl. aufweisen, oder die Verbindung zwischen dem Endabschnitt des Leiterstabes und dem Endabschnitt des Stirnverbinders hat eine Schicht aus Hochtemperaturweichlot, vorzugsweise mit einem Schmelzpunkt von mindestens etwa 380 Grad Celsius.

[0027] Um zu vermeiden, daß im Bereich der Wicklungsköpfe eine Verdickung der Wicklung (mit dem damit verbundenen Raumproblem) entsteht, ist vorzugsweise der Endabschnitt des Leiterstabes wenigstens etwa um die Wanddicke des im wesentlichen U-förmig gestalteten Endabschnittes des Stirnverbinders verjüngt. Dies ist an all den Seitenflächen vorzusehen, an denen der Endabschnitt des Stirnverbinders an dem Endabschnitt des Leiterstabes anliegt.

[0028] Wenn der Endabschnitt des Stirnverbinders lediglich an zwei (zum Beispiel einander gegenüberliegenden) Seitenflächen des Endabschnittes des Leiterstabes zur Anlage und zur (materialschlüssigen) Verbindung kann die Packungsdichte der Wicklungslagen im Wicklungskopf gleich groß gehalten werden wie in der Wicklungsnut.

[0029] Vorzugsweise weist jeder der einander gegenüberliegenden Schenkel an seiner dem Endabschnitt des Leiterstabes zugewandten Innenfläche einen Vorsprung auf, der mit den entsprechenden Seitenflächen des Endabschnittes des Leiterstabes kontaktiert. Dies erleichtert bei dem Verbindungsvorgang einen definierten Ablauf des Materialschlusses.

[0030] Auf besonders einfache Weise kann die materialschlüssige Verbindung durch Elektro-Impuls-Schweißen ausgeführt sein.

[0031] Insbesondere bei mehrphasigen elektrischen Maschinen ist es notwendig, daß die Wicklungsköpfe zueinander seitlich versetzt sind. Dies ist am einfachsten dadurch zu realisieren, daß der Stirnverbinder über den Endabschnitt des Leiterstabes axial hinausragt und abgekröpft ist.

[0032] Vorzugsweise sind der Leiterstab und/oder der Stirnverbinder mit einem Keramik- oder Email-Überzug versehen. Dabei ist es vorteilhaft, die beiden Teile zu im wesentlichen L-förmigen Bauteilen zusammen zu fügen, vor dem Zusammenfügen oder daran anschließend mit dem Keramik- oder Email-Überzug zu versehen, sie dann lagenweise (von beiden Stirnseiten her) in die Nuten des weichmagnetischen Körpers einzubringen und dann zu den jeweiligen Wicklungen zu verbinden.

[0033] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Maschine mit einem Läufer oder Ständer der mehrere, an seinem Umfang verteilt angeordnete Wicklungskammern bildende Nuten zur Aufnahme von wenigstens einer Läufer- bzw. Ständerwicklung aufweist, wie in den vorherigen Ansprüchen definiert, mit den Schritten: Einbringen eines im wesentlichen rechteckigen Leiterstabes in eine Wicklungskammer, so daß an wenigstens einer Stirnseite des Läufers oder Ständers ein Endabschnitt des Leiterstabes übersteht, materialschlüssiges Anbringen eines Stirnverbinders am überstehenden Endabschnitt des Leiterstabes durch Zusammenpressen des Stirnverbinders mit dem überstehenden Endabschnitt des Leiterstabes und zeitgleich oder zeitlich nachgelagert zu dem Pressen ein Anlegen von elektrischen Kontakten jeweils an den Leiterstab und an den Stirnverbinder, durch die ein vordefinierter elektrischer Leistungs-Impuls fließt, der ausreicht um an der/den Verbindungsstellen das Material zum Schmelzen zu bringen, wobei die Stellen, an denen an den Leiterstab und an den Stirnverbinder die elektrischen Kontakte angelegt werden, von den Press-Stellen unterschiedlich sind.

[0034] Dadurch, daß die Stellen, an denen an den Leiterstab und an den Stirnverbinder die elektrischen Kontakt-Elektroden angelegt werden, von den Press-Stellen unterschiedlich sind. Damit wird ein Zusammenkleben oder Verschmelzen der Kontakt-Elektroden mit den zu verbindenden Teilen vermieden.

[0035] Dabei umfassen die zwei gegenüberliegenden Schenkel die jeweiligen Seitenflächen des Endabschnittes des Leiterstabes und werden gegen diese gepreßt.

[0036] Erfindungsgemäß ist Leistung des Impulses so bestimmt, daß im Bereich der Verbindungsstelle im wesentlichen keine Wärme an die Umgebung abfließt. Dies wird insbesondere dadurch erreicht, daß die Leistung in einem möglichst kurzen Zeitintervall in die zu verbindenden Teile eingeleitet wird. Dadurch findet der Verschmelzungsprozess so schnell statt, daß kaum Energie an die Umgebung abgegeben wird, bevor der Verbindungsvorgang beendet ist.

[0037] Erfindungsgemäß paßt sich der Leiterquerschnitt ausserhalb des weichmagnetischen Körpers dem jeweiligen Raumangebot an, wobei insbesondere an den Verbindungsstellen der Leiterquerschnitt vergrößert ist, um durch große Kontaktflächen niedrige Übergangswiderstände zu ermöglichen. Durch die verbesserte Raumaussnutzung erhöht sich

der Wirkungsgrad oder die Leistungsdichte der Maschine.

[0038] Weitere Merkmale, Eigenschaften, Vorteile und mögliche Abwandlungen werden für einen Fachmann anhand der nachstehenden Beschreibung deutlich, in der auf die beigefügte Zeichnung Bezug genommen ist.

[0039] In Fig. 1 ist eine Abwicklung eines Ständers für einen Elektromotor gemäß der Erfindung schematisch in der Draufsicht mit geschnittenen Ständerwicklungen veranschaulicht.

[0040] In Fig. 2 ist eine schematisch veranschaulicht, wie die Wicklungsköpfe eines Elektromotors mit einem Ständer, wie er in Fig. 1 veranschaulicht ist, über den Wicklungsnuten und dem Ständerrücken angeordnet sind.

[0041] In Fig. 3 und 4 ist schematisch in perspektivischer Darstellung veranschaulicht, wie ein Leiterstab einer Wicklung gemäß Fig. 1 mit einem den Wicklungskopf bildenden Stirnverbinder zu verbinden ist.

[0042] In Fig. 5 ist in einer schematischen Draufsicht veranschaulicht, wie der Leiterstab und der Stirnverbinder aus Fig. 3, 4 zusammengepreßt und mit einem elektrischen Leistungs-Impuls beschickt werden.

[0043] In Fig. 6 ist eine weitere alternative Ausführungsform eines Stirnverbinders mit einem Abschnitt eines Stirnverbinders in einer schematischen perspektivischen Darstellung gezeigt.

[0044] In Fig. 7 ist eine weitere alternative Ausführungsform eines Stirnverbinders mit einem Abschnitt eines Stirnverbinders in einer schematischen perspektivischen Darstellung gezeigt.

[0045] In Fig. 8 ist noch eine weitere alternative Ausführungsform eines Stirnverbinders mit einem Abschnitt eines Stirnverbinders in einer schematischen perspektivischen Darstellung gezeigt.

35 Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

[0046] In Fig. 1 ist ein Abschnitt einer Abwicklung eines Ständers 10 einer (nicht weiter veranschaulichten) Innenläufermaschine in einer Draufsicht gezeigt, wobei die Erfindung auch für eine Außenläufermaschine einsetzbar ist. Der Ständer 10 ist in der vorliegenden Ausführungsform aus (nicht weiter veranschaulichten) übereinandergestapelten Blechen aufgebaut, könnte aber auch aus zu der entsprechenden Form gepreßten und gesinterten Eisenpartikeln bestehen.

[0047] Der Ständer 10 hat nebeneinander angeordnete Nuten 12, durch die Wicklungskammern für die entsprechenden Ständerspulenwicklungen 14 gebildet sind. In der gezeigten Ausführungsform haben die Wicklungskammern 12 einen im wesentlichen rechteckigen Querschnitt, wobei sie an ihrer dem (nicht gezeigten) Läufer zugewandten Seite Schlitz 16 haben. Jeweils zwischen zwei Schlitz 16 sind damit Zähne 18 gebildet.

[0048] Jede Ständerspule 14 ist aus im Querschnitt im wesentlichen rechteckigen Leiterstäben 20 gebildet, welche in die Wicklungskammern 12 eingebracht sind und mit Stirnverbinder 22 verbunden sind. Die Stirnverbinder 22 aller Wicklungen bilden zusammen Wicklungsköpfe 24 (siehe Fig. 2).

[0049] Fig. 2 zeigt ebenfalls einen Ständer 10 einer Wandfeldmaschine mit mehreren Ständerspulen. Der Ständer 10 ist ein weichmagnetischer Eisenkörper mit einem Ständerrücken 11, an dem unter Bildung der Zähne 18 beabstandete Nuten 12 ausgebildet sind.

[0050] Die Ständerspulen 14 des Ständers 10 sind durch in den Nuten 16 angeordnete Leiterstäbe 20 und an den Stirnseiten des Ständers 10 angeordnete, die Leiterstäbe 20 verbindende Stirnverbinder 22 gebildet. Die Ständerspulen 14

sind im Bereich der Stirnverbinder 22 zumindest teilweise im wesentlichen quer zum Grund 17 der Nuten 16 – bezogen auf die Längsachse der Leiterstäbe 20 – abgewinkelt und überragen den Grund 17 der Nuten 16 teilweise in Richtung des Ständerrückens 11. Dabei haben die Stirnverbinder 22 eine im wesentlichen senkrechte Orientierung relativ zur Stirnfläche des Ständers bzw. Läufers.

[0051] Die Stirnverbinder 22 sind dazu an einem oder an beiden ihrer Endbereiche mit den Enden 26 der Leiterstäbe 20 durch quer zur Längsachse der Leiterstäbe 20 orientierte Versatzabschnitte 27 verbunden (siehe auch Fig. 7 oder 8). Die Versatzabschnitte können – wie in der Fig. 8 gezeigt – entweder Teil des Stirnverbinders 22 oder wie in der Fig. 7 gezeigt – Teil des jeweiligen Leiterstabes 20 sein.

[0052] Wie insbesondere in Fig. 2 und in Fig. 8 zu sehen ist, sind die Versatzabschnitte 27 an den beiden Endbereichen der Stirnverbinder 22 zu den jeweiligen Enden 26 der Leiterstäbe 20 unterschiedlich lang um die jeweilige Relativ-Position des Stirnverbinders 22 im Wickelkopf zu erreichen.

[0053] In der Fig. 2 ist ein Wickelkopf einer 5-Phasen/1-Loch-Maschine teilweise schematisch dargestellt, wobei jede Wicklung 4 Lagen (u, v, w, x) hat. Der besseren Übersichtlichkeit sind die beiden Nuten 3', 5' links von den Nuten 1, 2, 3, 4, 5 und die beiden Nuten 2', 4' rechts von den Nuten 1, 2, 3, 4, 5 ohne Leiterstäbe und damit verbundene Stirnverbinder gezeigt. Erichtlich ragt der Wicklungskopf etwa 30% ( $a \cdot RT$ ) über den Ständerrücken 11. Insbesondere bei Niederspannungsmaschinen (etwa bis 60 Volt Betriebsspannung) kann der Sicherheitsfaktor  $a$  auf bis zu 0.95 gesetzt werden. Im vorliegenden Rechenbeispiel (siehe Fig. 2) hätte dann der Stirnverbinder 22 etwa eine Dicke SD von 0.88 mm während die Leiterstäbe eine Dicke LD von 2.5 mm haben.

[0054] In den Fig. 3, 4 ist eine Ausführungsform für die Gestaltung der Verbindung zwischen den Leiterstäben 20 mit den Stirnverbindern 22 gezeigt. Die Leiterstäbe 20 sind an ihren Enden 26 mit den Stirnverbindern 22 materialschlüssig und elektrisch verbunden. Dies ist dadurch realisiert, daß jeder der Stirnverbinder 22 einen im wesentlichen U-förmig gestalteten Endabschnitt 30 mit zwei gegenüberliegenden Schenkeln 32, 34 aufweist, deren einander zugewandte Innenseiten 32a, 34a mit entsprechenden Seitenflächen 26a, 26b des Endabschnittes 26 eines der Leiterstäbe 20 verbunden sind. Dabei zeigen die Fig. 3 und 4 nur die Verbindung zwischen einem Ende eines Leiterstabes 20 und einer Hälfte eines (ansonsten im wesentlichen spiegelbildlich) aufgebauten Stirnverbinders 22.

[0055] Um diese Verbindung herzustellen ist in dieser Ausführungsform an den Seitenflächen 26a, 26b des Endabschnittes 26 des Leiterstabes 20 eine Schicht aus (Silber-)Hartlot aufgebracht.

[0056] Wie in der Ausführungsform von Fig. 4 gezeigt, ist der Endabschnitt 26 des Leiterstabes 20 etwa um die Wanddicke des im wesentlichen U-förmig gestalteten Endabschnittes 30 des Stirnverbinders 22 verjüngt. Damit wird erreicht, daß im Bereich der Wicklungsköpfe die räumlichen Verhältnisse nicht zu sehr beeengt sind, bzw. daß die Wicklungsköpfe sehr kompakt aufgebaut sein können, so daß der elektromagnetisch nicht wirksame Teil der Ständerspulen relativ klein ist. Da die Leiterstäbe und die Stirnverbinder über die beiden Seitenflächen bzw. Innenflächen miteinander verbunden werden, wird eine sehr große Verbindungsfläche und damit eine mechanisch und elektrisch sehr sichere Verbindung erzielt.

[0057] An den einander zugewandten Innenflächen der gegenüberliegenden Schenkeln 32, 34 ist jeweils ein Vorsprung 38 in Form eines von der Außenseite der Schenkel

32, 34 her eingeprägten Kegels vorgesehen. Da, wie weiter unten im Detail erläutert ist, die Verbindung zwischen dem Leiterstab und dem Stirnverbinder durch Elektro-Impuls-Schweißen ausgeführt ist, wird durch diesen Vorsprung 38 bei dem Schweißvorgang eine reproduzierbare elektrische Kontaktierung und damit ein definierter Schmelzvorgang des zu verbindenden Materials erreicht.

[0058] Bei der Herstellung einer elektrischen Maschine mit dem vorstehend beschriebenen Ständer ist gemäß einer ersten Ausführungsform wie folgt vorzugehen:

Zunächst wird ein Ständer (siehe Fig. 1) bereitgestellt, der die entsprechenden Nuten hat. In diese Nuten werden die rechteckigen Leiterstäbe eingelegt, welche so bemessen sind, daß an beiden Stirnseite des Ständers jeweils ein Endabschnitt des Leiterstabes übersteht. Durch die Verwendung von Leiterstäben, deren Form an die Gestalt der Nuten angepaßt ist, kann die Packungsdichte (dh der Füllfaktor) erheblich gesteigert werden gegenüber den üblichen Spulenwicklungen aus Runddraht.

[0059] Anschließend wird ein Stirnverbinder mit dem überstehenden Endabschnitt des Leiterstabes verbunden. Dazu werden die beiden gegenüberliegenden Schenkel 32, 34 des Endabschnittes 30 des Stirnverbinders 22 an die jeweiligen Seitenflächen 26a, 26b des Endabschnittes 26 des Leiterstabes 20 mittels zweier Preß-Backen 40, 42 gepreßt (siehe Fig. 5). Im Gegensatz zu herkömmlichen Werkzeugen zum Elektro-Impuls-Schweißen fließt durch diese Preßbacken 40, 42 kein Strom. Vielmehr werden diese lediglich durch die Kräfte F zusammengeschoben, so daß die beiden gegenüberliegenden Schenkel 32, 34 des Endabschnittes 30 des Stirnverbinders 22 an die jeweiligen Seitenflächen 26a, 26b des Endabschnittes 26 des Leiterstabes 20 gepreßt werden. Dabei kommen die Spitzen der Vorsprünge 38 jeweils Seitenflächen 26a, 26b des Endabschnittes 26 in Berührung. Gleichzeitig mit dem Zusammenpressen und der dabei auftretenden Berührung der Vorsprünge 38 mit den Seitenflächen 26a, 26b werden jeweils an den Leiterstab und an den Stirnverbinder elektrische Kontakte angelegt werden, durch die eine vordefinierter elektrischer Leistungs-Impuls fließt, der ausreicht um an der/den Verbindungsstellen das Material zum Schmelzen zu bringen.

[0060] Alternativ dazu können Leiterstäbe 20 an einem ihrer Enden mit jeweils einem Ende eines Stirnverbinders 22 verbunden werden, so daß im wesentlichen L-förmige Gebilde entstehen. Diese L-förmigen Gebilde werden dann lagenweise von beiden Stirnseiten des Ständers 10 in dessen Nuten 12 eingelegt und mit den entsprechenden Enden der korrespondierenden Leiterstäbe bzw. Stirnverbinder in nachstehend beschriebener Weise verbunden.

[0061] Wie in Fig. 5 veranschaulicht, sind die Stellen, an denen an den Leiterstab und an den Stirnverbinder die elektrischen Kontakte angelegt werden, von den Stellen unterschiedlich, an denen die Preß-Backen die beiden gegenüberliegenden Schenkel 32, 34 des Endabschnittes 30 des Stirnverbinders 22 an die jeweiligen Seitenflächen 26a, 26b des Endabschnittes 26 des Leiterstabes 20 pressen. In der gezeigten Ausführungsform wird der elektrische Leistungs-Impuls durch zwei Kontakt-Stempel 50, 52 eingeleitet, die einerseits an dem Mittelsteg 56 (siehe Fig. 3, 5) des Stirnverbinders und andererseits an der Stirnfläche 26c des Leiterstabes angelegt werden. Selbstverständlich können auch – abhängig von den räumlichen Gegebenheiten – andere Stellen zum Einleiten des elektrischen Leistungs-Impulses an dem Stirnverbinder bzw. dem Leiterstab verwendet werden. Entscheidend ist lediglich, daß die Kontaktstellen für den elektrischen Leistungs-Impuls von den Stellen unterschiedlich sind, an denen den Stirnverbinder mit dem Leiterstab verbunden (verschweißt) wird. Dadurch, daß kein elek-

trischer Strom durch die Krafteinleitungsstellen fließt, wird vermieden, daß die Preß-Backen an einem der zu verbindenden Teile anklebt.

[0062] In Fig. 6 ist eine weitere Ausführungsform des Stirnverbinders bzw. des Leiterstabes gezeigt, bei dem der Stirnverbinder 22 nur mit den beiden gegenüberliegenden Schenkeln 32, 34 seines Endabschnitts 30 an den Seitenflächen 26a, 26b des Endabschnittes des Leiterstabes anliegt. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, daß der Abstand zu dem benachbarten Leiterstab in der gleichen Wicklungskammer nicht durch die Verbindung des Leiterstabes mit seinem jeweiligen Stirnverbinder beeinträchtigt wird. Hierbei kann der an den Stirnverbinder anzulegende Kontaktstempel an das die Stirnfläche 26c des Leiterstabes übergreifende Mittelstück 56 angelegt werden und der an den Leiterstab anzulegende Kontaktstempel an dem entgegengesetzten Ende des Leiterstabes angelegt werden.

[0063] Ein wesentlicher Vorteil dieser Ausführungsform besteht darin, daß der Endabschnitt keine Verjüngungen aufweisen muß um eine in den kritischen Orientierungen (insbesondere zu den benachbarten Leiterstäben) raumsparende Verbindung zwischen den Leiterstäben und den Stirnverbindern zu realisieren.

[0064] In Fig. 7 ist eine weitere Ausführungsform des Stirnverbinders und des Leiterstabes gezeigt, bei dem an dem Leiterstab eine Anschlußfahne als Versatzabschnitt 27 einstückig winklig angeformt ist. An dem Versatzabschnitt 27 ist der Stirnverbinder 22 angeschweißt.

[0065] In Fig. 8 ist eine weitere Ausführungsform des Stirnverbinders und des Leiterstabes gezeigt, bei der die Leiterstäbe 20 an ihren Enden mit den Stirnverbindern 22 materialschlüssig elektrisch verbunden sind, indem jeder der Leiterstäbe 20 einen im wesentlichen U-förmig gestalteten Endabschnitt mit zwei gegenüberliegenden Schenkeln 20a, 20b aufweist, zwischen die ein Ende des Stirnverbinders 22 eingreift und dort verschweißt ist. Ersichtlich sind hier die Versatzabschnitte 27 an den beiden Endbereichen des Stirnverbinders 22 zu den jeweiligen Enden der Leiterstäbe 22 unterschiedlich lang und abgewinkelt.

[0066] Grundsätzlich ist es auch möglich, die Endabschnitte der Stirnverbinder flächig mit den Endflächen der Leiterstäbe zu verbinden (zum Beispiel zu verschweißen).

[0067] Die in den Figur gezeigten Verhältnisse der einzelnen Teile und Abschnitte hiervon zueinander und deren Materialdicken sind nicht einschränkend zu verstehen. Vielmehr können einzelne Abmessungen auch von den gezeigten abweichen. Außerdem versteht es sich, daß die in den Figur gezeigten Ausführungsformen für rund laufende Maschinen, also Innen- oder Außenläufermaschinen, entsprechend um eine Rotationsachse anzuordnen bzw. zu krümmen sind.

#### Patentansprüche

1. Wanderfeldmaschine mit einem Ständer (10) und einem Läufer, die jeweils wenigstens eine Ständerspule (14) und/oder eine Läuferspule aufweisen, wobei der Ständer (10) und/oder der Läufer einen weichmagnetischen Eisenkörper mit einem Ständer- (11) und/oder Läuferrücken aufweist, an dem unter Bildung von Zähnen (18) beabstandete Nuten (16) ausgebildet sind, und die Ständer- (14) und/oder Läuferspulen in den Nuten (16) des Ständers (10) und/oder des Läufers angeordnete Leiterstäbe (20) und an den Stirnseiten des Ständers (10) und/oder Läufers angeordnete, die Leiterstäbe (20) verbindende Stirnverbinder (22) aufweisen, wobei

die Ständer- (14) und/oder Läuferspulen im Bereich der Stirnverbinder (22) zumindest teilweise im wesentlichen quer zum Grund der Nuten abgewinkelt sind und den Grund der Nuten zumindest teilweise in Richtung der Ständer- (11) und/oder Läuferrücken überragen, und wobei

die Stirnverbinder (22) eine effektive Dicke SD im wesentlichen quer zu einem zwischen dem Ständer (10) und dem Läufer befindlichen Luftspalt aufweisen, die der Bedingung genügt:

$$LD \cdot n + RT \cdot a = SD \cdot n \cdot PZ \cdot LZ$$

wobei

LD die Dicke eines der Leiterstäbe,

SD die Dicke des Stirnverbinders,

NT die Tiefe der Nut,

RT die Tiefe des Rückens,

a ein Sicherheitsfaktor (0. . . 1),

n die Zahl der Leiterstäbe in Richtung der Nuttiefe NT

LZ die Lochzahl der Spulen, und

PZ die Phasenzahl der Wanderfeldmaschine ist.

2. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei die Stirnverbinder (22) an ihren beiden Endbereichen mit den Enden (26) der Leiterstäbe (20) durch Versatzabschnitte (27) verbunden sind.

3. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 2, wobei die Versatzabschnitte (27) an den beiden Endbereichen der Stirnverbinder (22) zu den jeweiligen Enden der Leiterstäbe (20) unterschiedlich lang und/oder mit unterschiedlichem Winkel abgewinkelt sind.

4. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei der Sicherheitsfaktor (a) in einem Bereich von 0.05 bis 0.95, vorzugsweise in einem Bereich von 0.2 bis 0.8 liegt.

5. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei die Leiterstäbe (20) an ihren Enden jeweils einen Verbindungsbereich aufweisen, der mit entsprechenden Abschnitten an den Stirnverbindern (22) für eine mechanische und elektrische Verbindung zusammenpaßt.

6. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 5, wobei die Verbindungsbereiche an den Enden der Leiterstäbe (20) durch stirnseitige Ausnehmungen oder Verjüngungen gebildet sind, in bzw. an die die entsprechenden Abschnitte an den Stirnverbindern (22) gefügt und verschweißt sind.

7. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei die Nuten sich zu einem Luftspalt zwischen dem Ständer und dem Läufer hin verjüngen oder erweitern und die in den Nuten angeordneten Leiterstäbe abhängig von ihrer Position in der Nut eine an die Nutweite zumindest teilweise angepaßte Breite aufweisen.

8. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei jede Ständer- und/oder Läuferwicklung (14) aus im Querschnitt im wesentlichen rechteckigen Leiterstäben (20) in den Nuten (12) und Wicklungsköpfe bildenden Stirnverbindern (22) aufgebaut ist, wobei die Leiterstäbe (20) an ihren Enden mit den Stirnverbindern (22) materialschlüssig elektrisch verbunden sind, indem jeder der Stirnverbinder (22) einen im wesentlichen U-förmig gestalteten Endabschnitt (30) mit zwei gegenüberliegenden Schenkeln (32, 34) aufweist, deren einander zugewandte Innenseiten mit entsprechenden Seitenflächen (26a, 26b) eines Endabschnittes (26) eines der Leiterstäbe (20) verbunden sind.

9. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei die Verbindung zwischen dem Endabschnitt des Leiterstabes und dem Endabschnitt des Stirnverbinders eine Schicht aus Hartlot, vorzugsweise Silberhartlot, Zinnhartlot oder dergl. aufweist, oder

die Verbindung zwischen dem Endabschnitt des Leiterstabes und dem Endabschnitt des Stirnverbinders eine Schicht aus Hochtemperaturweichlot, vorzugsweise mit einem Schmelzpunkt von mindestens etwa 380 Grad Celsius aufweist.

10. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei der Endabschnitt des Leiterstabes wenigstens etwa um die Wanddicke des im wesentlichen U-förmig gestalteten Endabschnittes des Stirnverbinders verjüngt ist.

11. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei jeder der einander gegenüberliegenden Schenkel an seiner dem Endabschnitt des Leiterstabes zugewandten Innenfläche einen Vorsprung aufweist, der mit den entsprechenden Seitenflächen des Endabschnittes des Leiterstabes kontaktiert.

12. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei die materialschlüssige Verbindung durch Elektro-Impuls-Schweißen ausgeführt ist.

13. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei der Stirnverbinder über den Endabschnitt des Leiterstabes axial hinausragt und abgekröpft ist.

14. Wanderfeldmaschine nach Anspruch 1, wobei der Leiterstab und/oder der Stirnverbinder mit einem Keramik- oder Email-Überzug versehen sind.

15. Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Wanderfeldmaschine mit einem Läufer oder Ständer der mehrere, an seinem Umfang verteilt angeordnete Wicklungskammern bildende Nuten zur Aufnahme von wenigstens einer Läufer- oder Ständerwicklung aufweist, wie in einem der vorherigen Ansprüchen definiert, mit den Schritten:

- Einbringen eines im wesentlichen rechteckigen Leiterstabes in eine Wicklungskammer, so daß an wenigstens einer Stirnseite des Läufers oder Ständers ein Endabschnitt des Leiterstabes übersteht,
- materialschlüssiges Anbringen eines Stirnverbinders am überstehenden Endabschnitt des Leiterstabes durch
- Zusammenpressen des Stirnverbinders mit dem überstehenden Endabschnitt des Leiterstabes und
- zeitgleich oder zeitlich nachgelagert zu dem Pressen ein Anlegen von elektrischen Kontakten jeweils an den Leiterstab und an den Stirnverbinder, durch die ein vordefinierter elektrischer Leistungs-Impuls fließt, der ausreicht um an der/den Verbindungsstellen das Material zum Schmelzen zu bringen, wobei
- die Stellen, an denen an den Leiterstab und an den Stirnverbinder die elektrischen Kontakte angelegt werden, von den Press-Stellen unterschiedlich sind.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei der Stirnverbinder einen im wesentlichen U-förmig gestalteten Endabschnitt mit zwei gegenüberliegenden Schenkeln aufweist, deren einander zugewandte Innenseiten mit entsprechenden Seitenflächen eines Endabschnittes eines der Leiterstäbe verbunden sind.

17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei der Schritt des materialschlüssiges Anbringens ein Pressen der zwei gegenüberliegenden Schenkel an die jeweiligen Seitenflächen des Endabschnittes des Leiterstabes umfaßt.

18. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die Leistung des Impulses so bestimmt ist, daß im Bereich der Verbindungsstelle im wesentlichen keine Wärme an die Umgebung abfließt.

19. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die beiden Teile zu im wesentlichen L-förmigen Bauteilen zusammengefügt werden, wobei vor dem Zusammenfügen

oder daran anschließend diese mit einem Keramik- oder Email-Überzug versehen werden, sie dann lagenweise in die Nuten des weichmagnetischen Körpers eingebracht und dann zu den jeweiligen Wicklungen verbunden werden.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig. 1

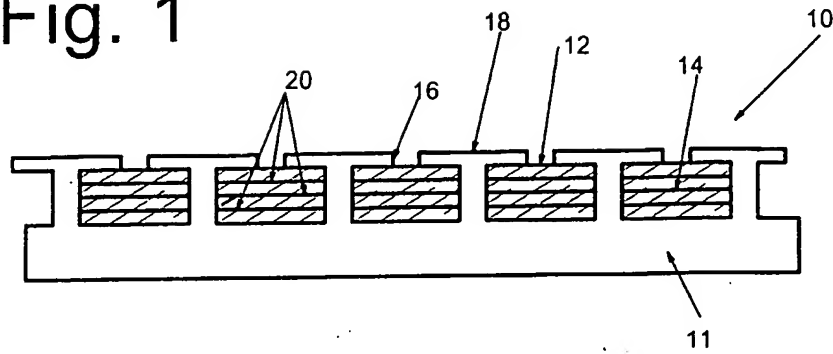


Fig. 3

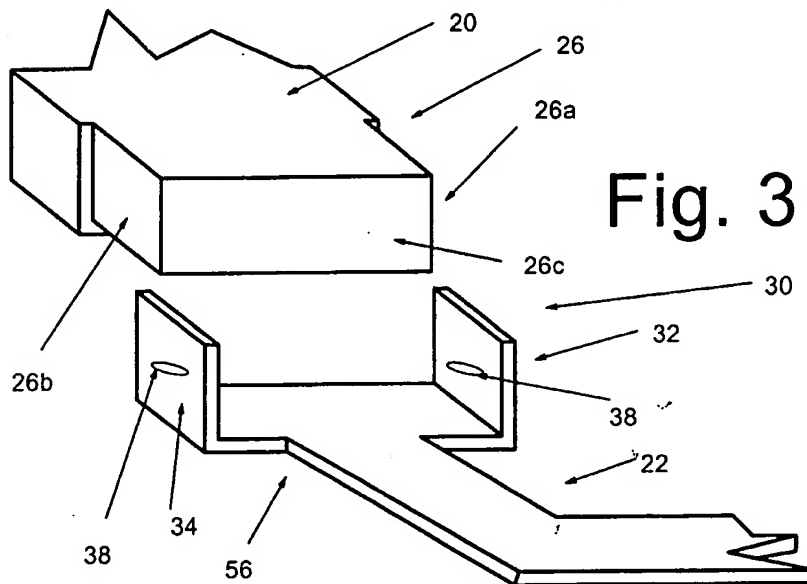
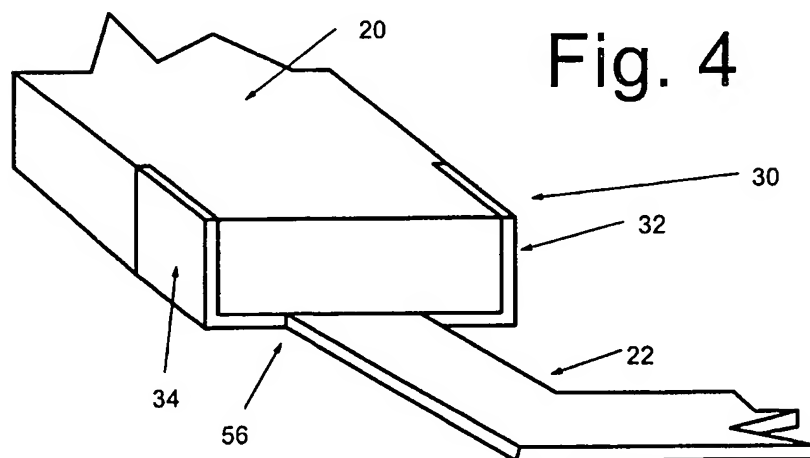
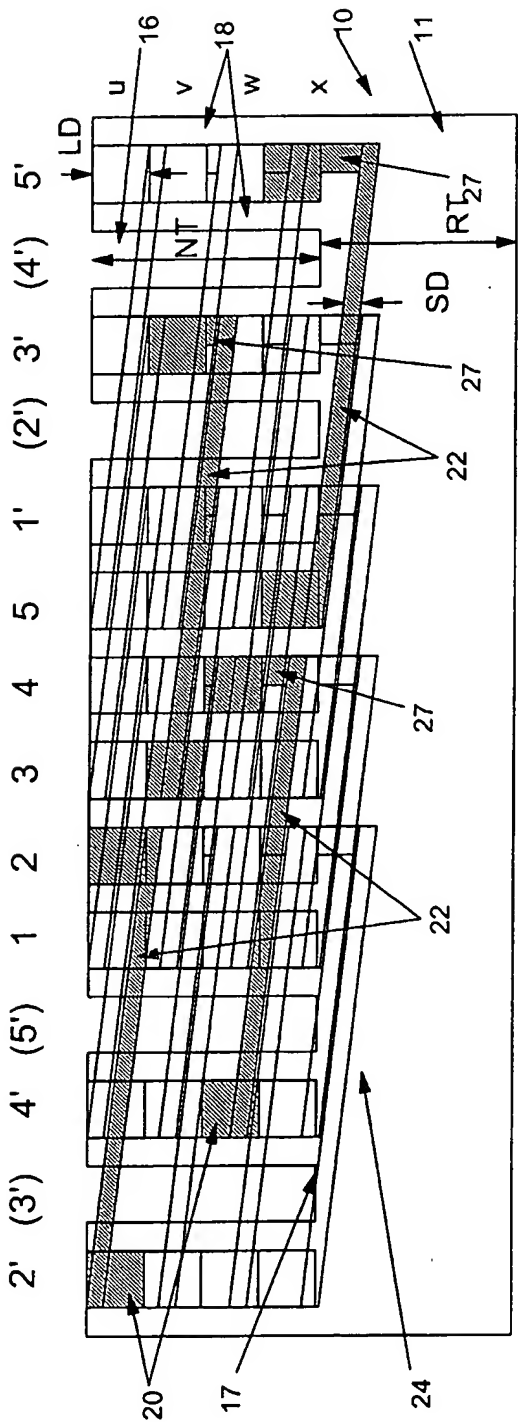


Fig. 4







LD : Leiterstabdicke  
NT : Nuttiefe  
RT : Rückentiefe  
a : Sicherheitsfaktor (0 ... 1)  
n : Zahl der Leiterstäbe längs der Nuttiefe  
PZ : Phasenzahl der Wandlerfeldmaschine  
LZ : Lochzahl der Spulen  
SD : Stirnverbinderdicke

Beispiel:  
LD = 2.5 mm  
NT = 10 mm  
RT = 8 mm  
a = 0.3  
n = 4  
PZ = 5  
LZ = 1

$n * LD = NT$

$(NT + RT * a) / n * PZ * LZ = SD$

$$\frac{10 + 8 * 0.3}{4 * 5 * 1} = 0.62 \text{ mm} = SD$$

Fig. 2

Fig. 5

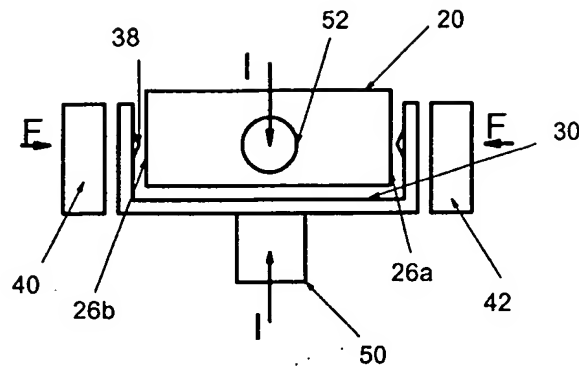
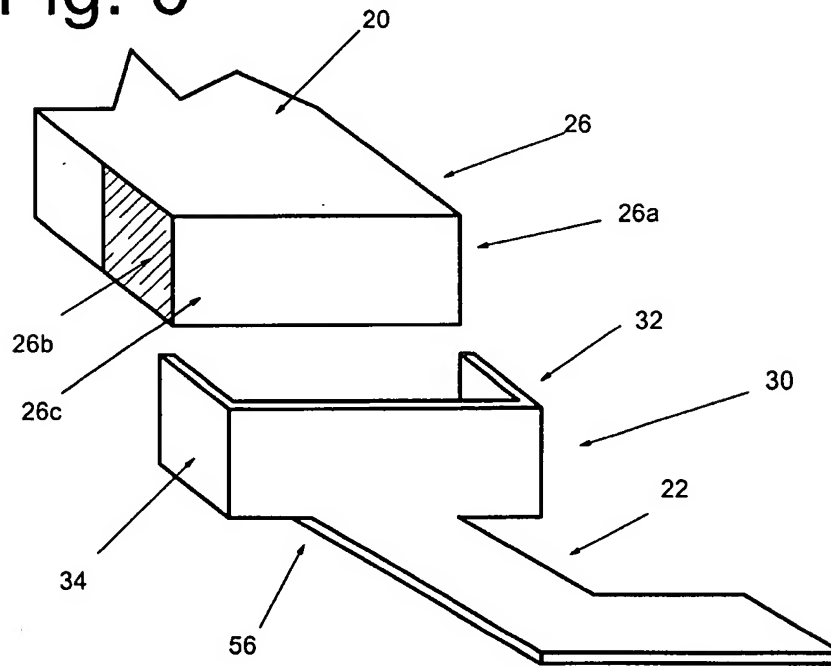


Fig. 6



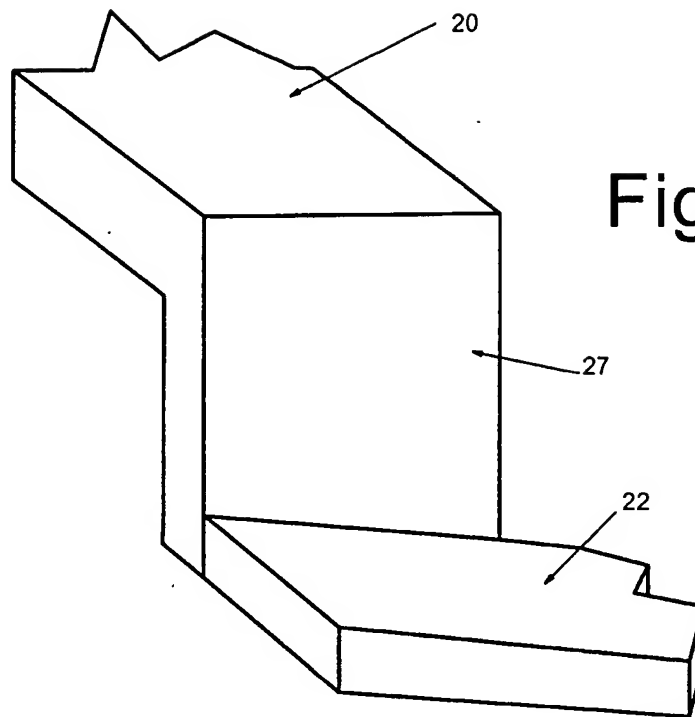


Fig. 7

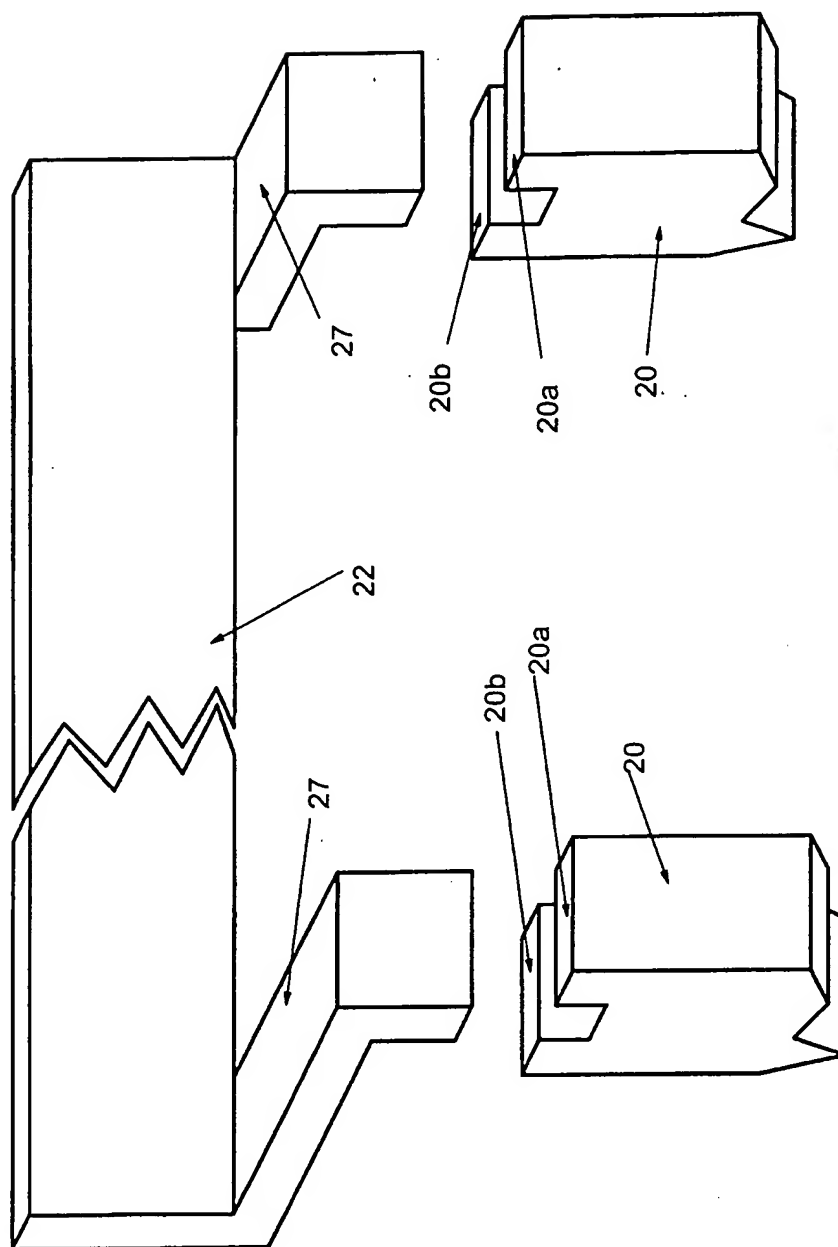


Fig. 8